

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені І. І. МЕЧНИКОВА

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE
OF UKRAINE
ODESA I. I. MECHNIKOV NATIONAL
UNIVERSITY

**Фізика
аеродисперсних
систем**

**Physics
of aerodisperse
systems**

ВИПУСК 57

VOLUME

Науковий збірник

Collection of papers

Засновано в 1969 р.

Founded in 1969

**Одеса
ОНУ
2019**

Приведено результати досліджень тепло- і масообміну в дисперсних системах при протіканні фазових і хімічних перетворень, механізмів утворення дисперсної фази, фізики горіння різноманітних речовин, критичні умови займання та погасання. Особливо розглядається газодинаміка процесів переносу дисперсної фази. Представлено результати досліджень електрофізики дисперсних систем і нелінійних процесів, які протікають в димовій плазмі.

Видання призначено для науковців, які вивчають процеси в аеродисперсних системах, зокрема аерозолях. Воно має бути корисним для студентів та аспірантів фізичних, фізико-технічних, енергетичних і хімічних факультетів, які спеціалізуються в області теплофізики дисперсних систем і фізики плазми, хімічної фізики та гідродинаміки.

Редакційна колегія:

д. ф.-м. н., професор	Калінчак В. В. (Україна)	(головний редактор)
д. ф.-м. н., професор	Алтоїз Б. А. (Україна)	
д. ф.-м. н., професор	Асланов С. К. (Україна)	
д. ф.-м. н., професор	Ассовський І. Г. (Росія)	
Ph.D., професор	Гриншпун С. А. (США)	
д. ф.-м. н., професор	Драган Г. С. (Україна)	
д. ф.-м. н., професор	Гоцульський В. Я. (Україна)	
д. ф.-м. н., професор	Контуш С. М. (Україна)	
д. ф.-м. н., професор	Копит М. Х. (Україна)	
Ph.D., професор	Новак Войцех (Польща)	
д. ф.-м. н., професор	Полетаєв М. І. (Україна)	
д. ф.-м. н., професор	Шевчук В. Г. (Україна)	
д. х. н., професор	Еннан А. А.-А. (Україна)	
к. ф.-м. н., доцент	Орловська С. Г. (Україна)	(відп. секретар)
к. ф.-м. н., доцент	Черненко О. С. (Україна)	(техн. секретар)
к. ф.-м. н.	Дараков Д. С. (Україна)	(техн. секретар)
	Красотова Л. М. (Україна)	(техн. секретар)

Друкується згідно з рішенням вченої ради ОНУ.
Протокол № 4 від 17 грудня 2019 р.

Включено до Переліку наукових профільних видань України (категорія Б) згідно з наказом Міністерства освіти і науки України № 1301 від 15 жовтня 2019 року.

Адреса редакційної колегії:

65082, Одеса, вул. Пастера, 27,

Одеський національний університет імені І. І. Мечникова,

кафедра загальної фізики та фізики теплоенергетичних і хімічних процесів,

тел. 048 / 723-12-03, 723-62-27

Адреса в Інтернеті: <http://fas.onu.edu.ua>

E-mail: teplophys@onu.edu.ua, svetor25@gmail.com, chernalex@ukr.net

UDK 532 + 533.9 + 536 + 537.5 + 622.61

The journal publishes results of studies in the field of heat and mass transfer in disperse systems during phase changes and chemical reactions, mechanisms of dispersed phase formation. Combustion of solid, liquid and gaseous fuels is analyzed, critical conditions of ignition and extinction are considered. Gas-dynamic phenomena that determine a transport of dispersed phase are considered. Studies of electrophysics of disperse systems and non-linear processes in dusty plasma are presented. The journal is intended for scientists and engineers in field of disperse systems and, in particular, aerosols. Also it will be useful for students and PhD students of physical, physical-technical, energy and chemical faculties, specializing in thermal and plasma physics of dispersed systems, chemical physics and hydrodynamics.

Editorial Board:

Kalinchak V. V. (Ukraine)	<i>(Editor-in-Chief)</i>
Altoiz B. A. (Ukraine)	
Aslanov S. K. (Ukraine)	
Assovsky I. G. (Russia)	
Dragan G. S. (Ukraine)	
Gotsulskii V. Y. (Ukraine)	
Ennan A. A.-A. (Ukraine)	
Grinshpun S. A. (USA)	
Kontush S. M. (Ukraine)	
Kopyt N. Kh. (Ukraine)	
Nowak Wojciech (Poland)	
Poletaev N. I. (Ukraine)	
Shevchuk V. G. (Ukraine)	
Orlovskaya S. G. (Ukraine)	<i>(Assistant Editor)</i>
Chernenko A. S. (Ukraine)	<i>(technical Secretary)</i>
Darakov D. S. (Ukraine)	<i>(technical Secretary)</i>
Krasotova L. N. (Ukraine)	<i>(technical Secretary)</i>

The journal is published on the decision of the Academic Council of Odesa I. I. Mechnikov National University of 17 December 2019

The journal is included in the list of scientific specialized editions of Ukraine (Category B) according to the Ministry of Education and Science of Ukraine order № 1301, October 15, 2019.

Address of the Editorial Board:

65082, Odesa, Paster str. 27,

Odesa I. I. Mechnikov National University,

Department of general physics and physics of thermoenergetical and chemical processes

Phone 048 / 723-12-03, 723-62-27

Internet address: <http://fas.onu.edu.ua>

E-mail: teplophys@onu.edu.ua, svetor25@gmail.com, chernalex@ukr.net

ЗМІСТ

ТЕПЛОФІЗИКА ДИСПЕРСНИХ СИСТЕМ

Алехин А.Д., Бурмистров А.Н., Рудников Е.Г., Остапчук Ю.Л.

Микроплавковий метод висотного определения давления в критическом флюиде и условие его равновесия в поле гравитации Земли

8

Алехин А.Д., Абдикаримов Б.Ж., Бурмистров А.Н., Рудников Е.Г.

Расширенные уравнения критической изотермы и гравитационного эффекта

17

Рудников Е.Г., Алехин А.Д., Ковальчук В.И.

Описание экспериментальных данных воды в окрестности критической точки на основе алгебры флуктуирующих величин

28

Поповский А. Ю, Алтоиз Б. А., Бутенко А. Ф.

Эпитропные слои олеиновой кислоты. Ориентационная упорядоченность и реологические характеристики.

34

Шут М.І., Рокицький М.О., Рокицька Г.В., Шут А.М., Баитовий В.І., Галушка Н.В.

Фізико-механічні властивості полімерних нанокompозитів системи пентапласт - вуглецеві нанотрубки

47

Ханчич Е.Ю., Железный В.П., Мотовой И.В., Турбуркат К.Ф.

Влияние добавок фуллерена C_{60} на плотность о-ксилола

54

ТЕПЛОМАСООБМІН

Дорошенко А.В., Халак В.Ф., Глауберман М.А.

Розробка й експериментальне дослідження робочих характеристик полімерних сонячних колекторів для енергетичних систем

64

ФІЗИКА ГОРІННЯ

Шевчук В.Г., Полетаев Н. И., Агеев Н. Д., Киро С. А.

Синергетические аспекты волнового горения пылей

76

Калінчак В. В., Черненко О. С., Федоренко А. В., Софронков О.Н.

Вплив розміру каталізатора на характеристики гістерезису безполум'яного горіння газоповітряних сумішей з домішками горючого газу

84

<i>Шевчук В.Г., Полетаев Н.И., Стариков М.А., Нимич А.В.</i>	
Радиационные свойства горящих облаков металлических пылей.	
1. Методика экспериментальных исследований	93
ГАЗОДИНАМІКА	
<i>Glushkov A.V., Khetselius O.Yu., Stepanenko S.N., Sofronkov A.N., Svinarenko A.A., Buyadzi V.V.</i>	
New energy, angle momentum and entropy balance approach to modelling climate and macroturbulent atmospheric dynamics, heat and mass transfer at macroscale. II. Computational algorithm	104
<i>Bunyakova Yu.Ya., Khetselius O.Yu., Florko T.A., Glushkov A.V., Svinarenko A.A., Dubrovskaya Yu.V.</i>	
A chaos-geometric approach to analysis, modelling and forecasting atmospheric pollutants dynamics for industrial regions	114
ЕЛЕКТРОФІЗИКА	
<i>Дойков Д.Н.</i>	
Коллективные эффекты в запыленной плазме с магнитным полем, облучаемой жесткими излучениями.	121
ФІЗИКА АЕРОЗОЛІВ	
<i>Ivanitsky G.K., Tselen B.Ya., Nedbaylo A.E., Konyk A.V.</i>	
Modeling the kinetics of cavitation boiling up of liquid.	136
ПЕРСОНАЛІЇ	
<i>Контущ С.М.</i> Памяти наших коллег – физиков-аэрозольщиков Романова К.В. (1936-1995), Неизвестного А.И. (1943-2017) и Липатова Г.Н. (1945-2014)	147
<i>Редколлегия журнала «ФАС».</i> К 90-юбилею Асланова С.К.	152
<i>Именной покажчик</i>	154
<i>Правила для авторів</i>	156

CONTENTS

THERMAL PHYSICS OF DISPERSE SYSTEMS

- Alekhin A.D., Burmistrov A.N., Rudnikov Ye.G., Ostapchuk Yu.L.*
Micro-floating method of high-altitude determination of pressure in the critical fluid and condition of its equilibrium under the Earth gravity 8
- Alekhin A.D., Abdikarimov B.Zh., Burmistrov A.N., Rudnikov Ye.G.*
Extended equations of the critical isotherm and the effect of gravity 17
- Rudnikov Ye.G., Alekhin A.D., Kovalchuk V.I.*
Description of the experimental data of water in the vicinity of the critical point on the basis of algebra of fluctuation variables 28
- Popovskii A.Yu., Altoiz B.A., Butenko A.F.*
Epitropic layers of oleic acid. Orientational ordering and rheological characteristics 34
- Shut M.I., Rokytskyi M.O., Rokytska H.V., Shut A.M., Bashtovyi V.I., Halushka N.V.*
Physical and mechanical properties of polymer nanocomposites of penton - carbon nanotubes system 47
- Khanchych K.Yu., Zhelezny V.P., Motovoy I.V., Tumburkat K.F.*
The effect of fullerene C_{60} additives on the density of o-xylene 54

HEAT AND MASS TRANSFER

- Doroshenko A.V., Khalak V.Ph., Glauberman M.A.*
Experimental study of polymer solar collectors performance characteristics in development of clean and more efficient energy-conversion systems 64

COMBUSTION PHYSICS

- Shevchuk V. G., Poletaev N. I., Ageev N. D., Kiro S. A.*
Synergetic aspects of wave dust combustion 76
- Kalinchak V.V., Chernenko A.S., Fedorenko A.V., Sofronkov A.N.*
Effect of catalyst size on flameless combustion's hysteresis characteristics of air-gas mixtures with combustible gas's impurities 84
- Shevchuk V.G., Poletaev N.I., Starikov M.A., Nimich A.V.*
Combustion metallic dusts radiotional properties. 1. Experimental investigation methodology 93

GAS-DYNAMICS

*Glushkov A.V., Khetselius O.Yu., Stepanenko S.N., Sofronkov A.N.,
Svinarenko A.A., Buyadzi V.V.*

New energy, angle momentum and entropy balance approach to modelling
climate and macroturbulent atmospheric dynamics, heat and mass transfer
at macroscale. II. Computational algorithm 104

*Bunyakova Yu.Ya., Khetselius O.Yu., Florko T.A., Glushkov A.V.,
Svinarenko A.A., Dubrovskaya Yu.V.*

A chaos-geometric approach to analysis, modelling and forecasting
atmospheric pollutants dynamics for industrial regions 114

ELECTROPHYSICS

Doikov D. N.

Collective effects in a dusty plasma with a magnetic field irradiated by hard
radiation 121

AEROSOLS PHYSICS

Ivanitsky G.K., Tselen B.Ya., Nedbaylo A.E., Konyk A.V.

Modeling the kinetics of cavitation boiling up of liquid 136

PERSONALITIES

Kontush S.M. In memory of our colleagues - aerosol physicists Romanov K.V.
(1936-1995), Neizvestniy A.I. (1943-2017) and Lipatov G.N. (1945-2014) 147

Editorial Board To the 90th anniversary Aslanov S.K. 152

Name index 155

Rules for authors 158

ГАЗОДИНАМІКА

У Д К 539.328

*Glushkov A.V., Khetselius O.Yu., Stepanenko S.N.,
Sofronkov A.N., Svinarenko A.A., Buyadzhiv V.V.*

Odessa State Environmental University

E-mail: buyadzhiv@gmail.com

New energy, angle momentum and entropy balance approach to modelling climate and macroturbulent atmospheric dynamics, heat and mass transfer at macroscale. II. Computational algorithm

A new non-stationary balance approach to modelling global mechanisms of climate and macro turbulent atmospheric low-frequency processes, including processes of heat-mass transfer at spatial and temporal macro scales, is based on the balance relationships for entropy, energy and angular momentum, spectral theory of atmospheric macroturbulence, atmospheric moisture flow in further connection with the continuity of atmospheric circulation forms (teleconnection, genesis of fronts). This article gives a detailed description of the computational algorithm (block diagram) of balance approach with emphasis on modeling macroturbulent, circulation low-frequency processes, calculating the balance of the atmosphere angular momentum etc.

Kew words: macro turbulent atmospheric processes, heat-mass transfer

Introduction. The quantitative study of global mechanisms in atmospheric low-frequency processes, teleconnection effects etc attracts a fundamental interest in a modern physics of climate and heat-and mass transfer in complex aerodispersed (atmospheric) systems [1-10]. Nowadays there are popular such methods of description macro- and micro- turbulent processes in atmosphere such as Modèle lagrangien de dispersion de particules d'ordre, Numerical atmospheric-dispersion models, Regional atmospheric transport model, model of the European Center for Medium-Range Weather Forecasts and others [1-15]. Despite the presence of sufficiently correct and consistent approaches to global atmospheric processes, the heat-and mass transfer processes in an atmosphere, macromodelling dispersion of the pollutants in an atmosphere there are remained very actual and hitherto unsolved problems. Earlier we developed a new non-stationary balance approach to modelling global mechanisms of climate and macro turbulent atmospheric low-frequency processes, including processes of heat-mass transfer at spatial and temporal macro scales, teleconnection effects (c.g. [16-19]). It is based on the using balance relationships for the angular momentum of the Earth (atmosphere) as well as an entropy, energy and, spectral theory of atmospheric macroturbulence, atmospheric moisture flow in further connection with the continuity of atmospheric circulation forms. Here we present the detailed description of the computational algorithm or the advanced non-stationary balance approach with accounting for the macro turbulent, circulation low-frequency processes.

1. Advanced angle momentum balance approach and spectral analogue of atmosphere dynamics equations in a low-frequency range. As some elements of

our theory were in details presented earlier [16-19], we are limited only by the key aspects. An advanced non-stationary angular momentum balance equation of in the planetary dynamic movements of air masses is written as follows:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} \int \rho M dV = & \int_{\phi_1}^{\phi_2} \int_0^H \int_0^{2\pi} \rho v M d\phi dz d\lambda + \int_0^H \int_{\phi_1}^{\phi_2} \int_0^{2\pi} (p_E^i - p_W^i) a \cos \phi dz d\phi d\lambda + - \\ & + \int_{\phi_1}^{\phi_2} \int_0^{2\pi} \int_0^H \tau_0 a \cos \phi d\phi d\lambda 2\pi, \end{aligned} \quad (1)$$

where $M = \Omega a^2 \cos \varphi + u a \cos \varphi$ – angular momentum; Ω – the angular velocity of rotation of the Earth; a – radius of the Earth; φ – Latitude ($\varphi_1 - \varphi_2$ – separated latitudinal belt between the Arctic and polar fronts); λ – longitude; u, v – zonal and meridional components of the wind velocity; ρ – air density; V – the entire volume of the atmosphere in this latitude belt from sea level to the average height of the elevated troposphere waveguide – H (in notations [1] $H = \infty$); $p_E^i - p_W^i$ – the pressure difference between the eastern and western slopes of the i -th mountains; z – height above sea level; τ_0 – the shear stress on the surface.

It should be noted [1] that the cycle of balance of angular momentum in the contact zones with the hydrosphere and lithosphere of the Earth becomes a singularity, which is usually detected through the occurrence of zones of fronts and soliton-type front. Then the kernel of equation (1) can be defined in the density functional ensemble of complex velocity potential [16, 17]:

$$f = \overline{v_\infty} z + \frac{1}{2\pi} \sum_{k=1}^n q_k \ln(z - a_k) + \frac{1}{2\pi} \sum_{k=1}^p \frac{M_k e^{\alpha_k i}}{z - c_k} - \frac{i}{2\pi} \sum_{k=1}^m \Gamma_k \ln(z - b_k) \quad (2)$$

and the corresponding complex velocity (c.g. [1, 2]). Here where f complex potential; v_∞ – complex velocity general circulation background (mainly zonal circulation); b_k – coordinates of vortex sources in the area of singularity; c_k – coordinates of the dipoles in the area of singularity; a_k – coordinates of the vortex points in areas of singularity; M_k – values of momenta of these dipoles; α_k – orientation of the axes of the dipoles; Γ_k, q_k – values of circulation in the vortex sources and vortex points, respectively.

The detailed description of different methods of choice the parameters sets for some synoptical situations is presented in Refs. [17-19]. Regarding the physical mechanism of the angular momentum transfer, on the known balance scheme by Oort [1] the Hadley circulation cell in angular momentum in the north part runs into a zone of the Arctic front, and at the time of the lithosphere it is included in the coverage of the polar front. Convergence of these atmospheric fronts could then close the cycle of atmospheric angular momentum balance in the same frequency range of atmospheric fluctuations without giving effect by an ocean and the lithosphere. The Hadley tropical cell carries teleconnection of the polar front with southern process by means of the link mechanism which is similar to link between the tropical and polar fronts or the Hadley tropical cell with a cell Hadley of temperate latitudes. The balance of angular momentum in conditions of the close convergence of the Arctic and Polar fronts over the ocean is largely respected by centrifugal "pull" moisture along the front sec-

tion of the polar front to south of a center of the cyclonic-depressive these. The physical features of the atmospheric ventilation predetermine the necessary modification of the Arakawa-Schubert model [15]. The model includes the budget equations for mass, moist static energy, total water content plus the equations of motion. In [15] it is also defined a cloud work function which is an integral measure of the buoyancy force in the clouds. If A is work of a convective cloud then it consists of a convection work and work of down falling streams in the neighbourhood of a cloud [17,18]:

$$dA/dt = dA/dt_{conv} + dA/dt_{downstr}, \quad dA/dt_{downstr} = \int_0^{\lambda_{max}} m_B(\lambda')K(\lambda, \lambda')d\lambda', \quad (3)$$

Here λ is a velocity of involvement, $m_B(\lambda)$ is an air mass flux, $K(\lambda, \lambda')$ is the Arakawa-Schubert integral equation kernel, which determines the dynamical interaction between the neighbours clouds (c.g., the definition of $K(\lambda, \lambda')$ in Refs. [15, 17]). If

$$\frac{dA}{dt_{downstr}} = F(\lambda), \quad \int_0^{\lambda_{max}} K(\lambda, \lambda')m_B(\lambda')d\lambda' + F(\lambda) = 0. \quad (4)$$

is an mass balance equation in the convective element (thermal), then one writes [9]:

$$m_B(\lambda) = F(\lambda) + \beta \int_0^{\lambda_{max}} m_B(\lambda')K(\lambda, \lambda')d\lambda'. \quad (5)$$

Here β is parameter which determines disbalance of cloud work due to the return of part of the cloud energy to the organization of a wind field in their vicinity, and balance regulating its contribution to synoptic processes. Solution of (5) with accounting for air stream superposition of synoptic processes is given by resolvent method [19]:

$$m_B(\lambda) = F(\lambda) + \beta \int_0^{\lambda_{max}} F(s)\Gamma(\lambda, s; \beta)ds, \quad (6)$$

where resolvent Γ can be presented as follows:

$$\begin{aligned} \Gamma(\lambda, s; \beta) &= \sum_{m=1}^{\infty} \beta^{m-1} K_m(\lambda, s); \quad K_m(x, s) = \\ &= \int_0^{\lambda_{max}} \dots \int_0^{\lambda_{max}} K(x, t_1)K(t_1, t_2) \dots K(t_{m-1}, s) dt_1 dt_2 \dots dt_{m-1} \end{aligned} \quad (7)$$

The key idea [17,19] is to determine a resolvent as an expansion to the Laurent series in complex plane ζ . Representation for resolvent is given by the Fourier expansion:

$$\Gamma = \sum_{n=-\infty}^{\infty} c_n (\zeta - a)^n, \quad (8)$$

$$c_n = \frac{1}{2\pi i} \oint_{|\zeta|=1} \frac{f(\zeta)d\zeta}{(\zeta - a)^{n+1}} \quad (9)$$

where a is centre of convergence ring of the Laurent series.

2. A total spectral analogue for atmospheric dynamics equation of motion.

Earlier we derived and studied the simplified form of equation of motion for atmospheric dynamics in the low frequency limit [17-19]. The method for calculating a turbulence spectra should be based on the standard tensor equations of turbulent tensions. As usually, it is convenient to partition velocity $\mathbf{u}(v_x, v_y, w) = (U, V, W)$, pressure p , temperature θ into equilibrium and departures from equilibrium values (for example: $p = p_o + p'$ etc). The total system includes equations for the Reynolds tensions, moments of connection of the velocity pulsations with entropy ones and the corresponding closure equations. The technique of using Reynolds tension tensors of the second rank is well known (for example, in the form of an analytical representation). The circuit equations with accounting the Coriolis force can be rewritten as [18]:

$$\frac{\partial V'^2}{\partial t} = -\frac{i}{a} \left[\overline{V'^2 L_1(\bar{V})} + 2\bar{V} \overline{V' L_1(V')} + \overline{V'^2 L_1(V')} \right] - \frac{i}{a} \left[L_2(\bar{V}) \overline{V' U'} + \right. \\ \left. + \bar{V} \overline{U' L_2(V')} + \bar{U} \overline{V' L_2(V')} + \overline{V' U' L_2(V')} \right] + 4\omega i \cos \theta \overline{V'^2} + \frac{2i}{a} \overline{V' L_6(\Phi')}, \quad (10a)$$

$$\frac{\partial U'^2}{\partial t} = -\frac{i}{a} \left[\overline{V' U' L_3(\bar{U})} + \bar{V} \overline{U' L_3(U')} + \bar{U} \overline{V' L_3(U')} + \overline{V' U' L_3(U')} \right] - \\ - \frac{i}{a} \left[\overline{U'^2 L_4(\bar{U})} + 2\bar{U} \overline{U' L_4(U')} + \overline{U'^2 L_4(U')} \right] - 4\omega i \cos \theta \overline{U'^2} + \frac{2i}{a} \overline{U' L_5(\Phi')}, \quad (10b)$$

$$\frac{\partial \overline{V' U'}}{\partial t} = -\frac{i}{2a} \left[\overline{V'^2 L_3(\bar{U})} + 2\bar{V} \overline{V' L_3(U')} + \overline{V'^2 L_3(U')} \right] - \\ - \frac{i}{2a} \left[\overline{V' U' L_4(\bar{U})} + \bar{U} \overline{V' L_4(U')} + \bar{V} \overline{U' L_4(U')} + \overline{V' U' L_4(U')} \right] + \quad (10c)$$

$$+ \frac{i}{a} \overline{V' L_6(\Phi')} - \frac{i}{2a} \left[\overline{U'^2 L_2(\bar{V})} + 2\bar{U} \overline{U' L_2(U')} \right] - \frac{i}{2a} \left[\overline{U' V' L_1(\bar{V})} + \bar{U} \overline{V' L_1(V')} + \right. \\ \left. + \bar{V} \overline{U' L_1(V')} + \overline{V' U' L_1(V')} \right],$$

where $L_j = \frac{\partial(\dots)}{\partial \theta} - (-1)^j \frac{i}{\sin \theta} \frac{\partial(\dots)}{\partial \lambda} + b_j \operatorname{ctg} \theta(\dots)$, $b_j = 1, j = 1, 4; b_j = -1, j = 2, 3; b_j = 0, j = 5, 6$. The velocity's correlates are determined as follows [2]:

$$\overline{u'_i u'_j u'_k} = -b \lambda_1 \left(\frac{\partial \overline{u'_i u'_j}}{\partial x_k} + \frac{\partial \overline{u'_i u'_k}}{\partial x_j} + \frac{\partial \overline{u'_j u'_k}}{\partial x_i} \right), \quad (11a)$$

$$\overline{u'_k u'_j \theta'} = -b \lambda_2 \left(\frac{\partial \overline{u'_k \theta'}}{\partial x_j} + \frac{\partial \overline{u'_j \theta'}}{\partial x_k} \right); \overline{u'_i \theta'^2} = -b \lambda_3 \left(\frac{\partial \overline{\theta'^2}}{\partial x_i} \right), \quad (11b)$$

$$p' \frac{\partial \theta'}{\partial x_i} = -\frac{b}{3l_1} \overline{u'_i \theta'} - \frac{1}{3} \sigma_{i3} \frac{g}{\theta_0} \overline{\theta'^2}, \quad (11c)$$

$$p' \left(\frac{\partial \overline{u'_i}}{\partial x_j} + \frac{\partial \overline{u'_j}}{\partial x_i} \right) = -\frac{b}{3l_1} \left(\overline{u'_i u'_j} - \frac{1}{3} \sigma_{ij} b^2 \right) + c b^2 \left(\frac{\partial \overline{u'_i}}{\partial x_j} + \frac{\partial \overline{u'_j}}{\partial x_i} \right). \quad (11d)$$

Here c, l_1, λ_i are constants which define the scales of turbulent vortexes and measure of their influence on an averaged motion and atmosphere turbulence anisot-

ropy [17]. Components of tensor of the turbulent tensions are (spectral modes of velocity field):

$$\begin{aligned} \hat{V}^2 &= \sum_{k=1}^{\infty} \sum_{s=-k}^k V_{k,s} T_{1,s}^k \left(\sum_{q=1}^{\infty} \sum_{j=-q}^q V_{q,j} T_{1,j}^q \right) = \\ &= \sum_{k=1}^{\infty} \sum_{s=-k}^k \sum_{q=1}^{\infty} \sum_{j=-q}^q V_{k,s} V_{q,j} \times \sum_{v=|k-q|}^{k+q} \sigma_{1,1,2}^{k,q,v} \sigma_{s,j,s+j}^{k,q,v} T_{2,s+j}^v = \overline{v_1' v_1'} = b^2 \end{aligned} \quad (12)$$

where $T_{1,j}^q$ are the vector-tensor spherical functions (c.g. [19,20]). An effective approach to determination of the atmospheric flow velocity is given by plane complex field method in a full analogy with the known Karman vortices chain model [17]:

$$v_x - i v_y = \frac{df}{d\zeta} = \frac{\Gamma}{2\pi i} \left[\frac{1}{\zeta - \zeta_0} + \sum_{k=1}^{\infty} \left(\frac{1}{\zeta - \zeta_0 - kl} + \frac{1}{\zeta - \zeta_0 + kl} \right) \right] + \frac{d}{d\zeta} \left[\sum_{k=1}^n \Gamma_k \ln(\zeta - b_k) \right]. \quad (13)$$

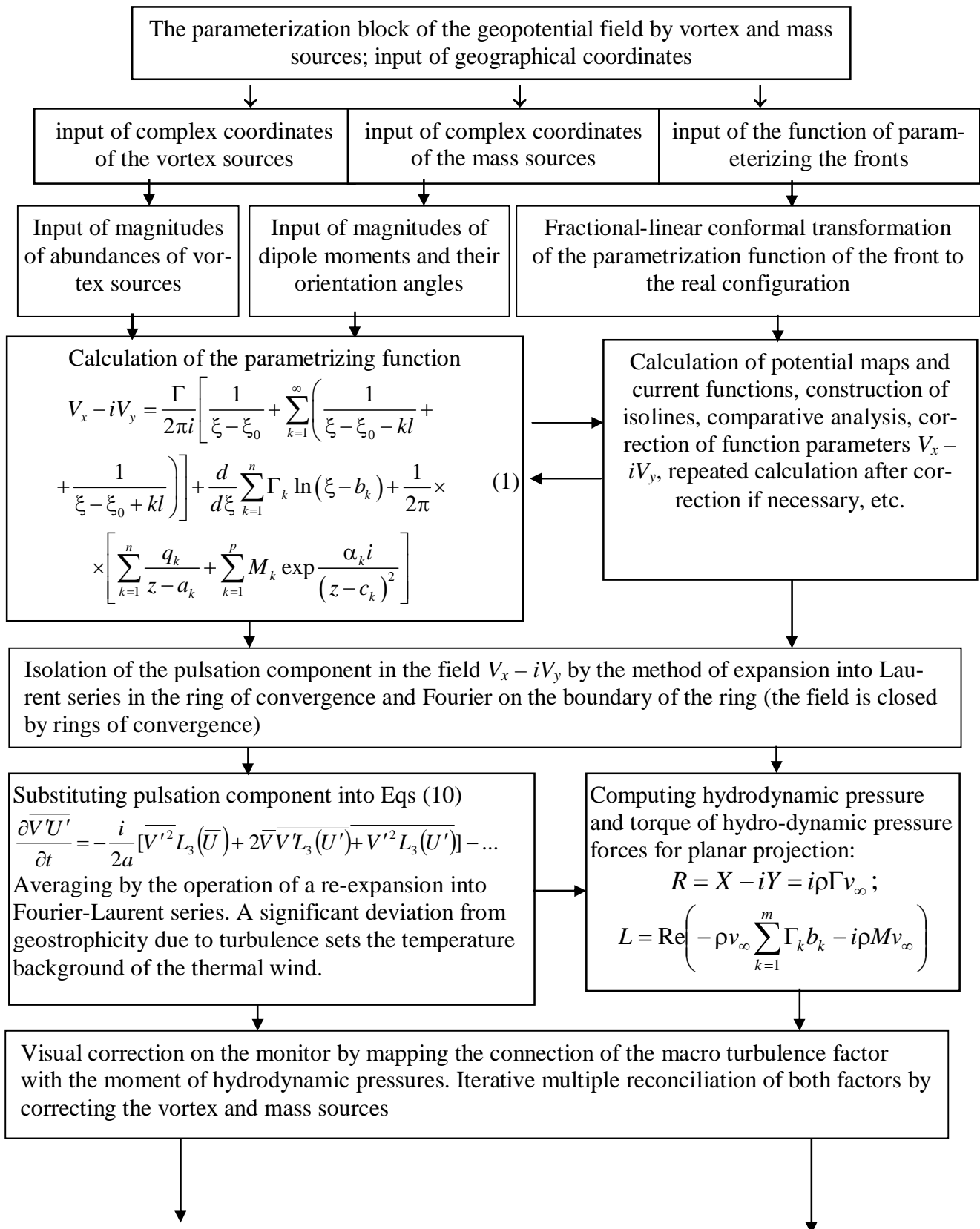
Here Γ_k – circulation on the vortex elements, created by clouds, b_k – co-ordinates of these elements, Γ – circulation on the standard Karman chain vortices of, l – distance between standard vortices of the Karman chain, ζ – co-ordinate of the convective perturbations line (or front divider) centre, ζ_0 – kl – co-ordinate of beginning of the convective perturbation line, $\zeta_0 + kl$ – co-ordinate of end of this line. It is very important to note that equating the velocity components determined in the global circulation model and plane complex field theory, one could find the spectral matching between the wave numbers that define the functional elements in the Fourier-Bessel series with the source element of a plane field theory. As usually, it is worth to remind that any vector field u can be separated into rotational and divergent parts, i.e., $u = \nabla\psi + u_f$ (the Helmholtz's theorem). If the vector field is a horizontal wind, one can define a current function ψ , to express the rotational part, and a velocity potential f , to express the divergent part. Usually these parameters are of a practical interest in applied analysis of the global atmospheric ventilation [1, 2, 5, 6, 18].

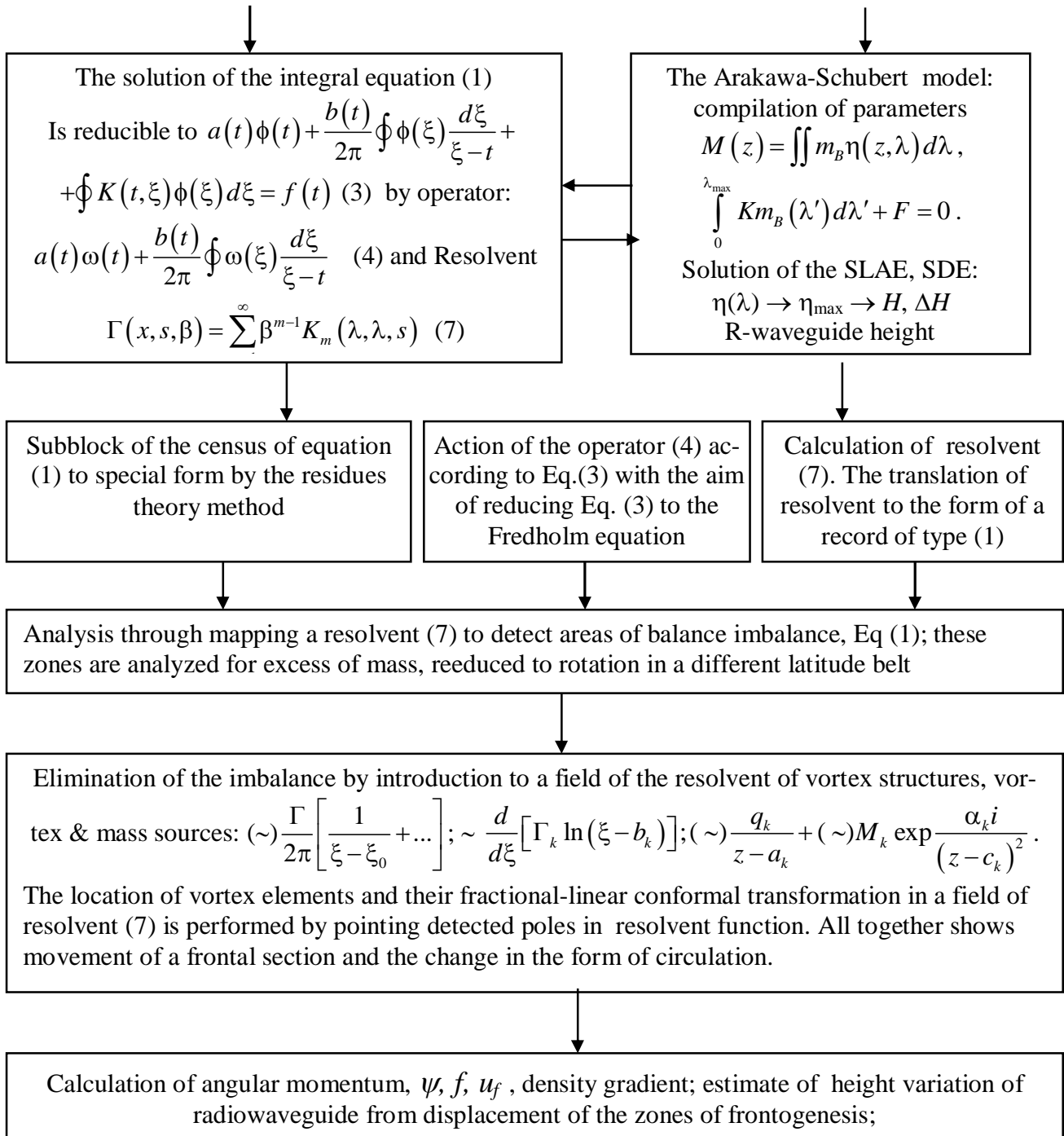
Flowchart of the computational algorithm of the balance approach. In Table 1 we list a flowchart (block-scheme) of the computational algorithm of the developed balance approach to modelling the global mechanisms of climate and macroturbulent atmospheric low-frequency processes, including processes of heat-mass transfer at spatial and temporal macro scales, teleconnection and front-genesis effects.

The approach is based on the energy, angular momentum balance relationships for the global atmospheric macroturbulent low-frequency processes, link of tropospheric waveguides with atmospheric moisture circulation and, accordingly, with the shape of atmospheric circulation over the position of the front sections of (atmospheric fronts as the main drives moisture). The results of calculating the balance of angular momentum, atmospheric circulation in link with continuity of atmospheric circulation forms will be presented in the next paper for a whole region of Pacific ocean.

Table 1

Flowchart of calculating height variation of an elevated tropospheric waveguide, the balance of the angular momentum, the macroturbulence factor, field of current function of the wind flows conjugated to this process





References:

1. *Peixoto J.P., Oort A.H.* Physics of Climate – N.-Y.: AIP. – 1992. – 520p.
2. *Wang, C.* Climate variability, Walker and Hadley circulations. – Springer, 2004.
3. *Gubanova E., Glushkov A., Khetselius O., Bunyakova Yu., Buyadzhi V., Pavlenko E.*, New methods in analysis and project management of environmental activity: Electronic and radioactive waste. – Kharkiv: FOP. – 2017.
4. *Glushkov A., Safranov T., Khetselius O., Ignatenko A., Buyadzhi V., Svinarenko A.*, Analysis and forecast of the environmental radioactivity dynamics based on methods of chaos theory: General conceptions//Environm. Problems. – 2016. – Vol.1, №2. – P.115-120.
5. *Kang I., Lau K.*, Principal modes of atmospheric circulation anomalies associated with global angular momentum fluctuations //J.Atm.Sci. – 1994. – Vol.51. – P.1194.
6. *Voss R. and Mikolajewicz U.* Long-term climate changes due to increased CO₂ concentration in the coupled atmosphere-ocean general circulation model ECHAM3/LSG// Climate Dynamics. – 2001. – Vol.17. – P.45–60.
7. *Rusov V.D., Glushkov A.V., Vaschenko V.N., Myhalus O.T., Bondartchuk Yu.A., Smolyar V.P., Linnik E.P., Mavrodiev S.C., Vachev B.I.*, Galactic cosmic rays – clouds effect and bifurcation model of the Earth global climate. Part 1. Theory // Journ. of Atmospheric and Solar-Terrestrial Phys. – 2010. – Vol.72. – P.498-508.
8. *Glushkov, A.V.; Khetselius, O.Yu.; Svinarenko, A.A.; Serbov, N.G.* The sea and ocean 3D acoustic waveguide: rays dynamics and chaos phenomena // J. Acoust. Soc. Amer. – 2008. – Vol.123(5). – P.3625.
9. *Serbov N., Svinarenko A.* Wavelet and multifractal analysis of oscillations in system of coupled autogenerators in chaotic regime // Photoelectronics. – 2006. – Vol.15. – P.27.
10. *Serbov, N., Svinarenko, A.* Wavelet and multifractal analysis of oscillations in a grid of coupled autogenerators// Photoelectronics. – 2007. – Vol.16. – P.53-56.
11. *Prepelitsa, G., Buyadzhi, V., Ternovsky, V.* Non-linear analysis of chaotic self-oscillations in backward-wave tube // Photoelectronics. – 2013. – Vol.22. – P.103-107.
12. *Glushkov A., Serbov N., Bunyakova Yu., Prepelitsa G., Svinarenko A.* Sensing the kinetical features of energy exchange in mixture CO₂-N₂-H₂O of atmospheric gases under interacting with laser radiation // Sensor Electr. and Microsyst. Techn. – 2006. – №4. – P.20-22.
13. *Khetselius O.Yu.*, Forecasting evolutionary dynamics of chaotic systems using advanced non-linear prediction method // Dynamical Systems – Theory and Applications, Eds. J. Awrejcewicz et al., 2013. – Vol.1. – P.145-152.
14. *Glushkov A., Khetselius O., Bunyakova Yu. et al* Non-linear prediction method in short-range forecast of atmospheric pollutants: low-dimensional chaos. // Dynamical Systems - Theory and Applications. – Lodz Univ. – 2011. – LIF111.
15. *Arakava A., Shubert W.H.*, Interaction of cumulus cloud ensemble with the large-scale environment // Journ. of Atm. Sci. – 1974. – Vol.31. – P.674-701.
16. *Buyadzhi V., Sofronkov A., Glushkov A., Khetselius O., Dubrovskaya Yu., Svinarenko A.* New energy, angle momentum and entropy balance approach to

- modelling climate and macroturbulent atmospheric dynamics, heat and mass transfer at macroscale // Phys. of Aerodisp. Syst. – 2018. – Vol.55. – P.94-103.
17. Glushkov A., Khetselius O., Ambrosov S., Bunyakova Yu., Mansarliysky V., The use of microsystems technology "Geomath" to modeling the balance of the angular momentum of the Earth, atmospheric processes and parameters of radio waveguides // Sensor Electr. and Microsyst. Techn. – 2013. – Vol.10, №1. – P.22-28.
18. Glushkov A.V., Khetselius O.Yu., Svinarenko A.A., Buyadzhi V.V., Methods of computational mathematics and mathematical physics. P.1. – TES: Odessa, – 2015
19. Glushkov A.V. Atom in electromagnetic field. – Kiev: KNT, – 2005.
20. Khetselius O. Hyperfine structure of atomic spectra. – Odessa: Astroprint, – 2008.

**Глушков О.В., Хецелиус О.Ю., Степаненко С.М.,
Софронков О.Н., Свиноренко А.А., Буяджи В.В.**

Новий балансовий по ентропії, енергії і кутовому моменту підхід до моделювання клімату та макротурбулентної динаміки атмосфери, тепло-масо-переносу в макромасштабі. II. Комп'ютерний алгоритм

АНОТАЦІЯ

Новий балансовий підхід до моделювання глобальних механізмів кліматичних і макротурбулентних атмосферних низькочастотних процесів, у т.ч., процесів тепло-масо-переносу, ефектів телеконекції тощо, базується на використанні балансових співвідношень по ентропії, енергії і кутовому моменту, спектральній теорії атмосферної макротурбулентності і волого-обороту у зв'язку із наступністю форм атмосферної циркуляції (телеконекція, генезис фронтів). У цій статті дано детальний опис комп'ютерного алгоритму (блок-схеми) підходу з акцентом на моделювання макротурбулентних, циркуляційних процесів, балансу кутового моменту тощо. Метод демонструє основу того нового напрямку у фізиці атмосфери і теорії клімату, зокрема, довгострокових і над довгострокових прогнозів, який в даний час стає домінуючим. У практичному плані суть моделювання також націлена на виявлення та апробацію нових предикторів для довгострокових прогнозів динаміки атмосферної (кліматичної) системи. Йдеться про адаптацію модифікованої теорії макротурбулентності стосовно до атмосферних радіохвильоводів з метою їх можливого використання поряд з іншими в якості предикторів у довгостроковому плані. Блок-схема висвічує потенціал запропонованих нами перших кількісних моделей обчислення балансу кутового моменту, атмосферного вологообороту у зв'язку з генезисом тропосферних радіохвильоводів і процесами спадкоємності форм атмосферної циркуляції (телеконекції, фронтогенезу) для цілей освоєння нових для прогностичної практики предикторів.

Ключові слова: макротурбулентні атмосферні процеси, теплопереніс

*Глушков А.В., Хецелиус О.Ю., Степаненко С.Н.,
Софронков А.Н., Свиаренко А.А., Буяджи В.В.*

Новый балансовый по энтропии, энергии и угловому моменту подход к моделированию климата и макротурбулентной динамики атмосферы, тепло-массо-переноса в макромасштабе. II. Компьютерный алгоритм

АНОТАЦИЯ

Новый балансовый подход к моделированию глобальных механизмов климатических и макротурбулентных атмосферных низкочастотных процессов, в т.ч.. процессов тепло-массо-переноса, эффектов телеконнекции и др., базируется на использовании балансовых соотношений для энтропии, энергии, углового момента, спектральной теории атмосферной макротурбулентности и влагооборота в связи с преобладанием форм атмосферной циркуляции (телеконнекция, генезис фронтов). В статье дано детальное описание компьютерного алгоритма подхода с акцентом на моделирование макротурбулентных, циркуляционных процессов, баланса углового момента и т.д. Метод демонстрирует основу того нового направления в физике атмосферы и теории климата, в частности, долгосрочных и сверхдолгосрочных прогнозов, которое в настоящее время становится доминирующим. В практическом плане суть моделирования нацелена на обнаружение и апробацию новых предикторов для долгосрочных и сверхдолгосрочных прогнозов динамики атмосферной (климатической) системы. Речь идет также об адаптации модифицированной теории макротурбулентности применительно к атмосферным радиоволноводам с целью их применения наряду с другими в качестве предикторов в долгосрочном плане. Блок-схема высвечивают потенциал предложенных нами первых количественных моделей расчета баланса углового момента, атмосферного влагооборота в связи с генезисом тропосферных радиоволноводов и преобладанием форм атмосферной циркуляции (телеконнекции, фронтогенеза) для целей освоения новых для прогностической практики предикторов.

Ключевые слова: макротурбулентные атмосферные процессы, теплоперенос.

Наукове видання

**ФІЗИКА
АЕРОДИСПЕРСНИХ
СИСТЕМ**

Випуск 57

Науковий збірник

Російською, українською та англійською мовами

Головний редактор **В.В. Калінчак**

Підписано до друку 21.01.2020. Формат 60x84/16.
Умов.-друк. арк. 11.39. Тираж 100 прим.
Зам. № 1939.

Надруковано з готового оригінал-макету

Видавець і виготовлювач
Одеський національний університет
імені І.І. Мечникова
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 4215 від 22.11.2011 р.

Україна, 65082, м. Одеса, вул. Єлісаветинська, 12
Тел.: (048) 723 28 39. E-mail: druk@onu.edu.ua